

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-321134
 (43)Date of publication of application : 24.11.2000

(51)Int.Cl.

G01J 3/10
 G01J 3/26
 G02F 1/39

(21)Application number : 11-135199

(71)Applicant : ITO HIROMASA

(22)Date of filing : 17.05.1999

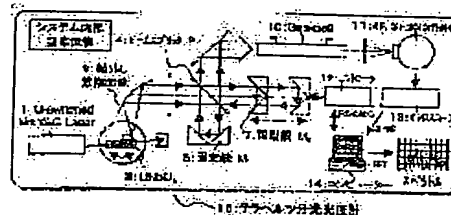
(72)Inventor : ITO HIROMASA
 SUGAWARA GOSHI
 CHIN KYU

(54) TERA HERTZ SPECTROPHOTOMETER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a spectrophotometer which can measure spectroscopy in THz(tera Hertz) region with good S/N by combining a variable wavelength tera Hertz wave light source having high spectral strength with a Type Fourier interferometer.

SOLUTION: The tera Hertz spectrometer 15 comprises a TPG (tera Hertz parametric generation) light source for radiating a THz wave generated by pumping a nonlinear crystal LiNbO₃ 3 through an Nd:YAG laser 1 into the space using an Si prism and collimating it through an off-axis parabolic mirror 9, an MP type interferometer for splitting the THz wave through a beam splitter 4 into two light beams and causing interference by superposing them again by means of a fixed mirror M16 and a movable mirror M27, a gas cell 10 filled with a sample for spectroscopy, and a 4K-Si bolometer 11 for detecting THz wave.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-321134

(P2000-321134A)

(43) 公開日 平成12年11月24日 (2000. 11. 24)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターマコード* (参考)
G 0 1 J 3/10		G 0 1 J 3/10	2 G 0 2 0
	3/26		2 K 0 0 2
G 0 2 F 1/39		G 0 2 F 1/39	

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平11-135199

(22) 出願日 平成11年5月17日 (1999. 5. 17)

(71) 出願人 000118213

伊藤 弘昌

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉390番82号

(72) 発明者 伊藤 弘昌

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉390-82

(72) 発明者 菅原 郷史

宮城県仙台市若林区上飯田3-35-22

(72) 発明者 陳 キュウ

宮城県仙台市青葉区福沢町4-10 101号

室

Fターム (参考) 2G020 AA02 CA12 CB05 CB14 CB23

CB27 CB46 CC22 CC54 CD04

CD16 CD24 CD35 CD52

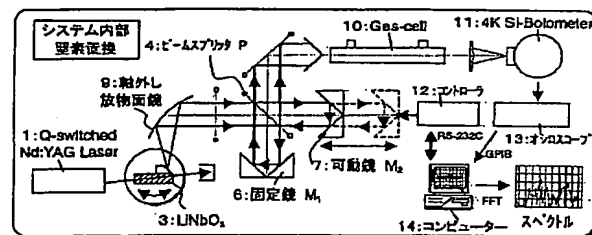
2K002 AA04 AB12 CA03 HA21

(54) 【発明の名称】 テラヘルツ分光光度計

(57) 【要約】

【課題】 強いスペクトル強度をもつ波長可変テラヘルツ波光源と、二光束干渉を用いたマーチンパープレット型フーリエ干渉計を組み合わせることにより、THz領域での分光を、S/N良く測定できる分光光度計を提供する。

【解決手段】 非線形結晶LiNbO₃をNd:YAGレーザー1で励起することにより発生したTHz波をSiプリズム2を用い空間に放射し軸外し放物面鏡9によりコリメートするTPG光源と、このTHz波をビームスプリッター4により二光束に分割した後、固定鏡M₁6と可動鏡M₂7により再び重ねられ干渉させるMP型干渉計、また分光の為に資料が充填されたガスセル10やTHz波を検出する為の4K-Siボロメータ11等、これらを具備したテラヘルツ分光計15を構成した。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 非線形光学効果であるパラメトリック発生（PG）により得られる波長可変テラヘルツ波（以下テラヘルツパラメトリック発生：TPGと省略）を光源として用いることを特徴とする分光計。

【請求項2】 請求項1において、非線形結晶として LiNbO_3 や LiTaO_3 等を用い、近赤外の光源で励起することにより発生するテラヘルツ（以下THzと省略）波を小型かつ強力な遠赤外領域での光源とすることを特徴とする分光計。

【請求項3】 請求項2において、非線形結晶内より生ずるTHz波の中心波長を、前記励起光源の結晶への入射角度を変化させることにより可変させることが可能な光源をもつことを特徴とする分光計。

【請求項4】 請求項2において、非線形結晶からのTHz波の大気中への取り出しに、Si製のプリズムを用いることにより、励起光源の結晶への入射角度を変えてもほぼ一方にTHz波が出射される特徴を持つ光源をもつことを特徴とする分光計。

【請求項5】 強いスペクトル強度をもつ波長可変TPG光源と、二光束干渉を用いた分光器を組み合わせることを特徴とする小型高輝度テラヘルツ分光光度計。

【請求項6】 請求項5において、干渉計にサブミリ波領域での効率の良い透過特性を持つワイヤグリッドをビームスプリッターに用いたマーチン-パブレット型フーリエ干渉計（以下MP型干渉計と省略）を用いる分光計。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の所属する技術分野】 本発明は、非線形光学効果であるパラメトリック発生により得られる強いスペクトル強度をもつ波長可変TPG光源と、二光束干渉を用いた分光器を組み合わせることにより実現される、小型高輝度テラヘルツ分光光度計に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 遠赤外領域の分光には、従来、連続的な周波数成分を持つ高圧水銀灯がほとんど唯一の光源として用いられており、分光計としては光量の有効利用の点で有利な、二光束干渉を用いたフーリエ変換分光計（以下FTSと省略）が広く用いられている。これは干渉光強度が光源スペクトルの波数空間から実空間へのフーリエ変換に対応していることを利用したものである。FTSでは、光源から光をビームスプリッターにより二光束に分け、二光束間に光路差を作り出した後干渉させ、その干渉曲線からスペクトルを得ているが、その二光束を得る方法により、FTS種類は、振幅分割により二光束を得るマイケルソン型、波面分割により二光束を得るラメラ型、および偏光を利用して二光束を得るマーチン-パブレット型の3種に大別される。この中でサブミリ波領域マイケルソン型FTSの半透明鏡の効率が落ちる

為、効率の良い透過特性を持つMP型干渉計が多く利用されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 従来の遠赤外分光では、光源である高圧水銀灯のスペクトル強度が低いため、インターフェログラム情報がノイズを多く含み、全体的なS/N比が低下してしまうという欠点がある。このTHz領域（0.5～5THz）での分光を、S/N良く測定できることを目的とする。

【0004】

【課題を解決するための手段】 上記課題を解決する為に、本発明は、次のようなテラヘルツ分光光度計を採用した。即ち、請求項1記載の、パラメトリック発生により得られる波長可変TPGを光源として用い、それを請求項5にあるように、二光束干渉を用いた分光器と組み合わせることにより実現される、小型高輝度テラヘルツ分光光度計である。光源は、請求項2記載の非線形結晶 LiNbO_3 や LiTaO_3 等を近赤外の光源で励起することにより発生するTPGを用いた。これは、広い遠赤外領域で波長可変でありnsec幅のパルスであるために比較的強い強度と長い光路長、ブロードなスペクトル特性を持つことから、分光に有利な特徴を有しており、小型かつ強力な遠赤外領域での光源となり得る。更に分光の方式としては、遠赤外領域での光量の有効利用を考えると二光束干渉を用いたフーリエ分光計が望ましく、中でもとくにサブミリ波領域での効率の良い透過特性を持つ請求項6記載のMP型干渉計の構成を用いた。

【0005】

【発明の実施の形態】 以下、図面を参照して、本発明の形態について説明する。この発明は、請求項5に記載してあるように、波長可変TPG光源と、MP型干渉計を組み合わせることで実現される小型高輝度テラヘルツ分光光度計である。ここで、それぞれの原理を示す。

A. THz波パラメトリック発生（TPG）の発生原理
光パラメトリック相互作用においては、ポンプ波

（ ω_p ） ω_p を請求項2記載の非線形光学結晶に入射するとシグナル波（ ω_s ）およびアイドラー波（ ω_i ）がエネルギー保存則 $\omega_p = \omega_s + \omega_i$ に従って発生する現象であり、シグナル波 ω_s の周波数をTHz波帯にまで拡張することにより、分光に適した幅広いスペクトルを持つ光源を提供することが可能となる。請求項1記載のパラメトリック相互作用を用いた光波の波長変換によってTHz波発生を行なうとき、純粋な光波だけの相互作用を用いた場合には利得が小さく、THz波帯の動作が困難である。しかし、前記 LiNbO_3 や LiTaO_3 などラマン活性かつ赤外光活性な該非線形光学材料を用いると、物質の素励起波（ポラリトン）を介して強い相互作用を起こすことができる。図1に示すようにポラリトンは低エネルギー領域ではフォトン的な振舞いするため、請求項2記載の十分強い励起光源を用いれば、ポラリトンを

介した誘導散乱現象を引き起こし高効率なTHz波(ω_T)発生が可能である。図2にTPG実験の概要図を示す。結晶内にポンプ光を入射したとき入射端で発生した量子雑音(熱雑音)が結晶利得により増幅され、ポンプ光から周波数がシフトした光(アイドラ光)が出力される。そしてポンプ光とアイドラ光がエネルギー保存則($\omega_P = \omega_i + \omega_T$)と運動量保存則($k_P = k_i + k_T$)を満たしたところでTHz波が発生する。発生するTHz波は受光角に依存した幅広いスペクトル(約15 cm⁻¹)を持ち、結晶の入射角を変化させることにより中心波長を同調できる。図3はノンドープLiNbO₃結晶を波長1.064 μmにより励起した場合の利得の計算結果であり、150~400 μm程度の領域に高い利得をもつことがわかる。ポンプ光強度I_pとともに利得係数が増大する特性は、利得がI_pの平方根に比例することに起因している。また、低温領域において利得係数が増大する特性は、主としてTHz波帯での吸収係数の減少に起因している。

B. マーチンパレット型干渉計の原理

請求項6記載のMP型干渉計の構成を図4に示す。前記MP型干渉計では入射光の偏光方向を分割して二つの光束をつくる偏光分割方式を用いる。請求項6記載のワイヤグリッドは、その該ワイヤに対して平行な偏光方向の電磁波を反射し、垂直な電磁波を透過させる(図5)。つまり、電磁波の偏光方向に対して前記ワイヤグリッドを45°に傾けることにより入射電磁波の反射・透過を1:1にすることが可能であり、効率のよい電磁波の分割が出来るという特徴を持つ。入射するTHz波の偏波方向は紙面と垂直である。45°においた前記ワイヤグリッドの請求項6記載のビームスプリッタDによりTHz波は1:1に分けられる。反射光と透過光はそれぞれ固定鏡と可動鏡により反射されて、偏光方向が90°回転される。再びDで結合したTHz波はポラライザP(ワイヤグリッド)によって該ワイヤに平行な成分と垂直な成分に分けられる。前記ビームスプリッタに入射する電界は、

【数式1】

$$E_i = e_s \frac{a}{\sqrt{2}} \cos \omega t + e_r \frac{a}{\sqrt{2}} \cos \omega t \quad \cdots (1)$$

再び前記ビームスプリッタで結合した電界は

【数式2】

$$E_j = e_s \frac{a}{\sqrt{2}} \cos(\omega t + \Delta_A) + e_r \frac{a}{\sqrt{2}} \cos(\omega t + \Delta_B) \quad \cdots (2)$$

となり、前記ポラライザPから出射するとその振幅は次のようになる。

【数式3】

$$|E| = \frac{a}{2} (\cos(\omega t + \Delta_A) - \cos(\omega t + \Delta_B)) \quad \cdots (3)$$

ただし、 Δ_A 、 Δ_B はそれぞれの位相変化であり、その強度は

【数式4】

$$I_P = \langle |E|^2 \rangle = \frac{a^2}{4} (1 - \cos \Delta) = \frac{I_0}{2} (1 - \cos \Delta) \quad \cdots (4)$$

となる。ここで $\Delta = 2\pi\sigma x$ 、 x は光路差、 σ は波数である。そのスペクトル強度を $B(\sigma)$ とすると、すべての σ について積分することにより、全強度は

【数式5】

$$I(x) = \frac{1}{2} \int_0^\infty B(\sigma) (1 - \cos 2\pi\sigma x) d\sigma \quad \cdots (5)$$

となる。光路差 x を変えると、強度 $I(x)$ が変化する。この干渉波形はインターフェログラムと呼ばれ、得られたインターフェログラムをフーリエ変換すると、スペクトル $B(\sigma)$ が求められる。本発明のテラヘルツ分光光度計はこのようなフーリエ分光法にも基づくため、多くの周波数成分を同時に測定できる利点がある。

【0006】

【実施例】これまでに述べたTPG光源とMP型干渉計を組み合わせることにより、スペクトル強度の大きなテラヘルツ分光光度計が実現できる。MP型分光計の透過特性は請求項6記載のワイヤグリッドの反射透過特性に大きく依存する。前記ビームスプリッタとして使うワイヤグリッドはワイヤの間隔を g とすると $4g$ 以下の波長では効率が落ちる。本発明の請求項1記載のTPGによるTHz波波長は33 cm⁻¹~71 cm⁻¹(140 μm~310 μm)の帯域であるので、本発明の分光システムはまずこの領域を測定できるように、ワイヤ間隔 g (μm)が35 μm以下が必要である。前記ワイヤグリッドは、直径が10 μm、格子間隔がそれぞれ25 μmおよび30 μmのタングステン線より構成されたもので、格子面有効直径が90 mmである。請求項1のTPGより発生したTHz光源のビーム直径は約5 mm、広がり角度約1.5°、前記ビームスプリッタの位置ではビーム直径が約15 mmであるので、十分な有効面積を持つ。図6に本発明のテラヘルツ分光光度計のシステム構成を示す。THz波発生に用いた請求項1のTPG光源は、請求項2記載の近赤外のレーザーとしてNd:YAGレーザー(パルスエネルギー12 mJ、パルス幅7 ns)で励起し、発生したTHz波は請求項4記載のSiプリズムを用い空間に放射され、軸外し放物面鏡によりコリメートしたあとポラライザP₁で直線偏光にして、請求項6記載のMP型干渉計に導く。固定鏡M₁と可動鏡M₂に用いた反射鏡は直角プリズムを二枚組合せた直角反射鏡を用いており、アルミニウムのコーティングを施している。これにより入射電磁波を常に入射方向に戻すことができるように調整されている。この反射光は入射光の偏波と直行する偏波を持つので、ビームスプリッタにより再び重ねられる。可動鏡を駆動させるアクチュエータは、最小移動間隔10 μm、最大移動距離20 cmである。干渉したTHz波の検出には請求項7記載の感度の高い4K-Siボロメータを使用した。

可動鏡を走査することにより得られる信号波形（インターフェログラム）をフーリエ変換することによって、スペクトル情報を得る。本発明のテラヘルツ分光光度計システムは機器制御用ソフトを用いて、可動鏡の走査および検出器の出力データの自動取り込みを行った。インターフェログラムの測定手順は、次の通りである。始めに、可動距離およびサンプリング間隔を入力し、分解能および波数の領域を決める。次にコンピュータから命令を送り、可動鏡をサンプリング開始位置 x_i まで動かす。鏡が x_i に着いた後、検出器からの出力をオシロスコープを通しコンピュータに取り込む。その後、再び可動鏡を次の位置 x_{i+1} まで動かした後、始めの可動鏡のサンプリング開始位置 x_i を x_{i+1} おきかえてその後の工程を必要回数繰り返してインターフェログラムを得る。以上の測定およびインターフェログラムのフーリエ変換はいずれもコンピュータ上で処理し、スペクトル情報を得ている。

【0007】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のテラヘルツ分光光度計の測定例を示す。スペクトル測定の最大分解能を得るには、最大光路差が得られるように光路差 0 の位置を始点としてインターフェログラムを測定すれば良い。図 7 は大気中で測定した THz 波のインターフェログラムの一例である。本測定では、最大 100 cm^{-1} (3 THz) 付近までの測定を行うために、サンプリング間隔を $\Delta X = 40 \mu\text{m}$ (最大波数 125 cm^{-1}) に設定した。また最大光路差は 1 cm に設定し、これに対応する分解能は 0.5 cm^{-1} (15 GHz) である。図 8 はインターフェログラムのフーリエ変換により得られたスペクトルであり、全体の包絡線が THz 光源のスペクトル強度を与える。この前記 TPG の中心波長は $0.5 \sim 5 \text{ THz}$ の範囲で同調が可能である。

【0008】このように、従来光源のスペクトル強度が不足することがされなかった $0.5 \sim 5 \text{ THz}$ 帯での分光で、THz 帯パラメトリック発生光を光源とした

MP 型テラヘルツ分光光度計システムをもってして、THz 波帯における高分解能な分光を可能たらしめる一技術となり得る。

【図面の簡単な説明】

【図 1】ポラリトンの分散関係と位相整合曲線を表す図である。

【図 2】THz パラメトリック発生実験の構成図である。

【図 3】パラメトリック利得の周波数特性を示す図である。

【図 4】マーチンパレット型干渉計の構成図である。

【図 5】ワイヤグリッドの偏光特性を示す図である。

【図 6】テラヘルツ分光光度計の全体の構成図である。

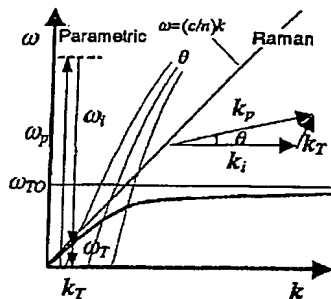
【図 7】テラヘルツ分光光度計により大気中計測した THz 波のインターフェログラムの図である。

【図 8】コンピュータによるフーリエ変換後のスペクトルを示す図である。

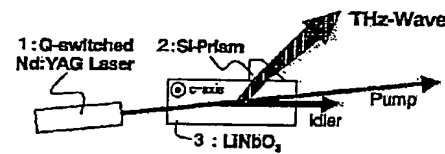
【符号の説明】

- 1 励起レーザー
- 2 結合器
- 3 非線形結晶
- 4 分配器
- 5 偏光版
- 6 固定鏡
- 7 稼動鏡
- 8 ワイヤー
- 9 コリメート用非対称球面ミラー
- 10 分光用資料
- 11 検出器
- 12 稼動鏡用コントローラー
- 13 オシロスコープ
- 14 システム制御用コンピュータ
- 15 テラヘルツ分光光度計

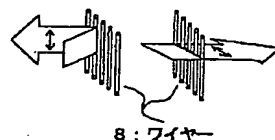
【図 1】



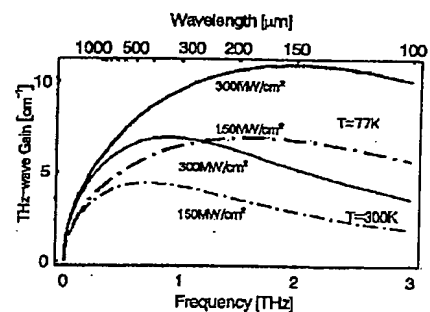
【図 2】



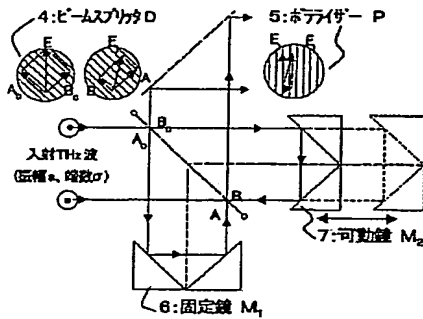
【図 5】



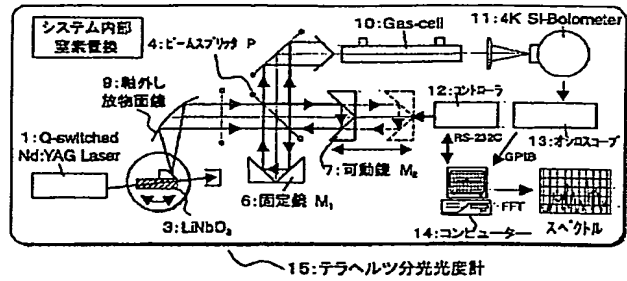
【図 3】



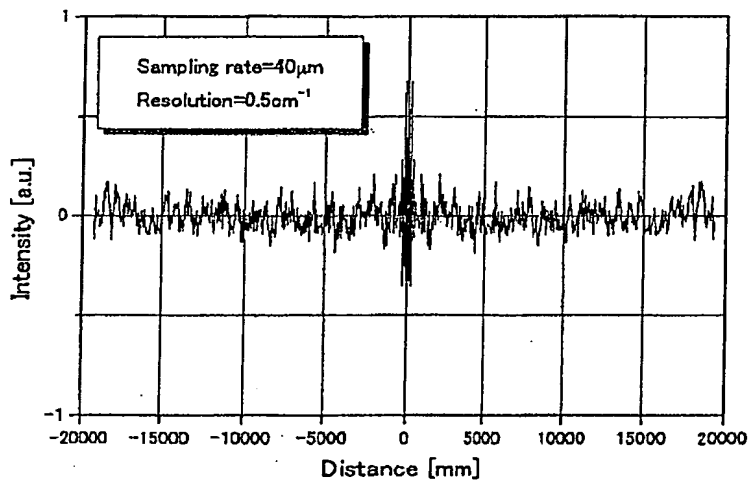
【図4】



【図6】



【図7】



【図8】

